

CIENCIAS NATURALES

Editor: Guillermo Bendaña García

guibendana@gmail.com

Ing. Agr. M.Sc., Consultor Independiente

Teléfono: 2265 2678 (casa-oficina)

Celulares: (505)8265 2524 (Movistar)

y (505) 8426 9186 (Claro)

Revisores:

Ing. M.Sc. Ramón Guevara Flores.

Tel. (505) 8701-8037

rsgflores@yahoo.com



Vamos a mantener la actual política editorial en la sección de Ciencias Naturales, que consiste en dar a conocer, desde una perspectiva académica, el mundo vegetal y animal de nuestro país (flora, fauna, flora etno-botánica útil), así como la anterior diversidad de temas abordados. El editor tiene algunos artículos escritos sobre esos temas que no he podido publicar en Nicaragua y conoce profesionales muy calificados que, como en el caso del editor, no tienen espacios para sus creaciones técnico-científicas.

Podemos incluir otros temas de mucho interés en el país como: Cambio Climático y sus afectaciones en la caficultura, en la ganadería nicaragüense, etc.; medidas de mitigación y adaptación al cambio climático; efectos de la deforestación en bosques de pinos o de latifoliadas sobre las características físicas y químicas de los suelos; medio ambiente: ej. los humedales de San Miguelito o los manglares del Estero Real y su importancia medio-ambiental; turismo rural: ventajas, desventajas; métodos de medición de la afectación por sequía en el corredor seco; alternativas agrícolas y ganaderas en las zonas secas; seguridad alimentaria; los suelos de Nicaragua: degradación, recuperación.

Los potenciales autores y colaboradores de la sección de Ciencias Naturales pueden enviar artículos inéditos, tesis o resúmenes de tesis; si en los trabajos se utilizan mapas, gráficos, dibujos, etc., estos deben ser claros, citando siempre las fuentes. ■

Feromonas: los Mensajeros Químicos de los Insectos

Guillermo Bendaña García

guibendana@gmail.com

www.guillermobendana.com

INTRODUCCION

Con el nombre de feromonas se designa a una serie de sustancias químicas activas, que median una correlación humoral entre los individuos de la misma especie. Las feromonas son liberadas al medio externo por un individuo y captadas por otro individuo de la misma especie, en el que se producen cambios en su pauta de comportamiento o en su proceso de desarrollo.

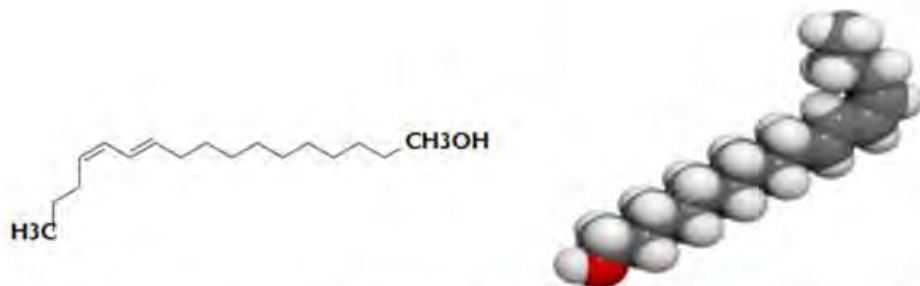
El término feromonas fue definido por primera vez en 1959 por Karlson y Luscher para describir el fenómeno recién descubierto por el químico alemán y Premio Nobel Adolph Butenandt, quién realizó el aislamiento e identificación del *bombykol*, una feromona sexual producida por la hembra de la mariposa del gusano de seda; proviene este término de la asociación de dos raíces griegas "*pherein*" (transportar) y "*hormán*" (excitación).

Estructuralmente las feromonas son moléculas sencillas, de peso molecular relativamente bajo y derivadas fundamentalmente de ácidos grasos o ciertos hidrocarburos como los terpenos. Es necesario hacer una clara distinción entre feromonas y hormonas, ya que las primeras se propagan por un medio externo, mientras que las segundas se transmiten por un medio interno (la sangre); las feromonas requieren de dos individuos para interactuar, mientras que las hormonas actúan a través de uno solo.

Un ejemplo modélico de feromonas lo constituyen las sustancias de atracción sexual entre los insectos, segregadas por la hembra y que atraen a los machos, a menudo desde grandes distancias. En la mariposa del gusano de seda (*Bombyx mori*), la sustancia activa se forma en unas glándulas aromáticas especiales, de las que se ha podido extraer y obtener en estado puro. Químicamente es un alcohol con dos dobles enlaces al que se denominó *bombykol*.

La ordenación estérica en los dobles enlaces del bombykol (abajo) tiene una gran importancia para el efecto biológico. La feromona es percibida por los machos mediante el sentido olfativo. Probablemente bastan tan solo algunas

moléculas por célula sensorial para provocar la reacción biológica. Los insectos usan varios medios para comunicarse, pero cualquiera que sea la modalidad, el insecto anuncia su presencia sólo a congéneres, pero el mensaje químico puede advertir de varias circunstancias. Por ejemplo, las feromonas, cuando son liberadas para atraer al sexo contrario, proclaman territorio y alarman a los de su misma clase.



**Bombykol, sustancia de atracción sexual de la mariposa del gusano de seda
(Fuente: Karlson, 1973, Kawuhara, 1984.).**

1. EL PROCESO DE PRODUCCIÓN, LIBERACIÓN Y PERCEPCIÓN DE LAS FEROMONAS EN LOS INSECTOS.

La síntesis de una feromona es un proceso regulado de forma muy precisa. El emisor de la feromona debe garantizar que las condiciones ambientales y fisiológicas reinantes sean las óptimas para que su producción y liberación tenga éxito.

Dado que las feromonas son liberadas en cantidades mínimas, los sistemas de detección deben ser capaces de identificar y detectar el mayor número posible de moléculas emitidas y mostrar además un alto nivel de especificidad, para responder únicamente al compuesto en particular independiente de la complejidad de olores presentes en el ambiente.

1.1 La producción feromonal.

Los insectos producen sus feromonas en glándulas exocrinas o de secreción externa. Muchas de estas glándulas son estructuras modificadas a partir de células epidérmicas.

Se ha trabajado mucho sobre la síntesis *in vivo* de las feromonas sexuales. Se cree que los insectos incorporan algún precursor inmediato de la feromona a través de la dieta, aunque también se ha comprobado que puede producirse una

síntesis *de novo* a partir de ciertos compuestos presentes en la glándula feromonal y no a partir de un precursor presente en la dieta. Sin embargo, la feromona puede ser almacenada bajo la forma de un precursor inmediato, el cual es rápidamente transformado en la feromona específica antes de su liberación. Por ejemplo, estudios han demostrado inequívocamente que dos de los componentes feromonales del *Ips para confusus* (Coleóptero de la familia Curculionidae, gorgojo plaga de los pinares jóvenes) son sintetizados a partir del *mirreno*, uno de los terpenos presentes en la planta huésped que en este caso es el *Pinus ponderosa*.

1.2 La liberación de feromonas.

La síntesis feromonal puede ser continua, pero la liberación de la feromona es un proceso controlado de forma muy precisa. Por ejemplo, las feromonas sexuales no están siempre presentes en el ambiente y solo son liberadas en un contexto necesario y específico. En el caso de individuos de la misma especie que liberen la feromona simultáneamente, es la selección natural la encargada de favorecer a los individuos que posean más posibilidades de encontrar pareja para la cópula.

Las variables ambientales normalmente influyen en la liberación de feromonas. Muchas especies de lepidópteros nocturnos (polillas, esfinges) **muestran un típico comportamiento de "llamada" durante las horas de oscuridad**, mientras que los coleópteros escolítidos (escarabajos, gorgojos) solo liberan, aparentemente, sus feromonas durante las horas diurnas. Variables como temperatura, velocidad del viento son también factores muy importantes. Por ejemplo, las hembras del lepidóptero nocturno, la polilla *Trichoplusia* (polilla del **gusano "falso medidor", plaga de hortalizas**), **hace su llamada a medida que baja** la luminosidad (hasta un nivel óptimo de 0.3 lux) y no la realizan por debajo de temperaturas de 12°C y su comportamiento de llamada puede ser más prolongado a una óptima velocidad del viento (para ella) entre 0.3 y 1.0 m/s.

Las variables fisiológicas también influyen profundamente sobre la liberación feromonal. Las hembras de *Trichoplusia ni* llaman hasta que tienen varios días de ser adultas, coincidiendo con la maduración de los oocitos. Las hembras que copulan una vez con un macho, pueden seguir llamando durante largo tiempo, pero algunas especies realizan la cópula una sola vez, tras la cual cesa la liberación de la feromona.

Como ocurre con otros tipos de comportamiento, la liberación de feromonas puede hallarse restringida a un período determinado de tiempo del ciclo de 24

horas. Ciertamente la intensidad luminosa es un factor de control del fenómeno pero la liberación feromonal y la respuesta provocada puede hallarse restringida a un período de solo una o dos horas. La coordinación de la liberación está a menudo bajo control circadiano. También se da una respuesta estacional coordinada con la circadiana que puede hacer adelantar el tiempo de la cópula a medida que desciende la temperatura y en las glándulas feromonales de la hembra se produce un ritmo circadiano de síntesis de la feromona paralelo al ritmo circadiano de liberación.

En algunas especies, los *corpora allata*¹ son necesarios para la producción feromonal, lo cual implica un control hormonal de la síntesis y/o de la liberación. También puede ocurrir cierta variación en la producción feromonal entre poblaciones de una misma especie. Las presiones selectivas pueden dar como resultado que especies relacionadas usen diferentes mezclas feromonales o bien que limiten la liberación de la feromona a momentos del día separados de forma muy específica.

1.3 La percepción feromonal.

La reproducción y supervivencia de los insectos depende en gran parte de estímulos olfatorios. Para ellos es necesario conocer las señales que son detectadas en condiciones naturales. Esto lo logran a través de ciertos apéndices o antenas que entre más largas son, aumentan el nivel de sensibilidad del receptor, permitiendo al mismo tiempo que el aire circule a través de ellas de modo que puedan analizar un gran volumen de aire que contiene las feromonas. Las antenas son también sensibles a estímulos táctiles, ya sea un contacto directo o el movimiento del aire; también cuentan con otros receptores sensibles al sonido o a la temperatura. La sensibilidad olfativa a las feromonas está determinada por la longitud y forma de las antenas y por el número, tipos y localización de las neuronas receptoras olfativas o sensilas que están constituidas por apófisis cuticulares situadas sobre la antena, las cuales sostienen las dendritas sensoriales, que en última instancia transmiten los impulsos al sistema nervioso central. La sensilas poseen paredes delgadas atravesadas por poros cuyo número puede variar desde unos 150 en la apófisis sensoriales de algunos saltamontes, hasta más de 50,000 en las largas sensilas sensoriales en los machos de la polilla *Antheraea pernyi* (mariposa que produce la llamada *seda tussah*). El macho de la mariposa del gusano de seda (*Bombyx mori*), posee unas 17,000 sensilas sensibles a la feromona de la hembra (el bombykol) en cada antena y cada sensila tiene más de 3,000 poros. En total cada antena posee unos 45 millones de poros. Cada poro conecta con una cavidad de la pared cuticular o receptáculo del poro,

¹Par de cuerpos ganglionares del insecto, situados debajo del cerebro, que regulan la metamorfosis y el desarrollo de los órganos sexuales.

y a partir de ella diversos túbulos conectan con el interior de lumen de la sensila. Los túbulos parecen terminar sobre la superficie de una o más dendritas que discurren por el centro de cada sensila, los que están rodeados por un fluido llamado líquido sensorial.

Las moléculas de feromonas que llegan a la antena penetran por los poros sensitivos directamente o bien por difusión a través de la superficie sensorial. Una vez en el receptáculo del poro, se difunden a través de los túbulos y establecen contacto con el receptor de membrana de una dendrita sensitiva.

1.4 La transducción.

En todo el proceso de recepción feromonal se conoce como transducción a la transformación de un mensaje molecular (una molécula de feromona) en una respuesta bioeléctrica en la neurona receptora (las dendritas de las sensilas). La molécula de feromona establece contacto con moléculas proteínicas que se hallan en la membrana de la dendrita receptora.

Una vez que las moléculas de feromona han reaccionado con los aceptores, son rápidamente convertidas en compuestos no reactivos por las enzimas de la antena, entonces las neuronas receptoras retornan rápidamente a la situación de poder ser estimuladas de nuevo.

1.5 Respuesta comportamental y fisiológica a las feromonas.

En el proceso que va desde la percepción de la feromona a la respuesta comportamental, el mensaje feromonal debe ser descifrado y traducido en una respuesta motriz. Los parámetros más significativos de este proceso son: la sensibilidad del sistema, los efectos de una estimulación continuada sobre la respuesta, la codificación de la especificidad de respuesta frente a la feromona, y el efecto de las variables fisiológicas y ambientales sobre la respuesta. Se ha calculado que el umbral de cambio de comportamiento en la mariposa del gusano de seda (*Bombyx mori*), se alcanza cuando percibe 200 moléculas de *bombykol*. Ello significa que los receptores de *bombykol* responden con aproximadamente un potencial de acción por cada molécula feromonal. En general, concentraciones crecientes de feromona son codificadas como valores crecientes de potenciales de acción hacia el cerebro. Evidentemente, el límite máximo de respuesta viene condicionado por el número total de áreasceptoras para una feromona dada.



Mariposa y gusano de seda

2. PROPIEDADES Y TIPOS DE FEROMONAS.

Una vez que se han recepcionado los estímulos feromonales, estos son recibidos por los órganos de los sentidos y su información es procesada por el cerebro insectil, desencadenando la respuesta adecuada. Todo ello está, desde antes, influenciado por las propiedades y el tipo de feromonas.

2.1 Propiedades de las feromonas.

Poseen una serie de características propias, tales como:

a) Se producen en cantidades ínfimas. Aun siendo producidas en cantidades bajísimas, las células sensoriales en las antenas de los insectos, son capaces de detectar incluso unas pocas moléculas de feromonas.

b) Son moléculas sencillas, cuando se habla de una feromona en particular, suele estar compuesta por unas pocas sustancias, no más de 2 a 4 productos.

c) Las feromonas son específicas, sólo las detectan, y responden a ella, individuos de la misma especie.

d) Pueden producirse por ambos sexos, pero es más frecuente que sean las hembras las sintetizadoras y distribuidoras.

e) Las feromonas en general actúan olfativamente, aunque algunas lo hacen por contacto, en especial en insecto acuáticos (como el escarabajo acuático, *Gyrinus natator*).

f) La ubicación de las glándulas que producen las feromonas suelen estar en la epidermis, y pueden estar distribuidas por todo el cuerpo, según el tipo de feromona que produzcan.

g) Su recepción es normalmente por las antenas que disponen de una gran cantidad de sensilas con diferentes formas, dotados de numerosos poros cuticulares-

2.2 Tipos de feromonas.

Existe un tipo específico de feromona para diferentes actividades que realizan los insectos. A propósito, los insectos no producen todos los tipos de feromonas que se citan a continuación, depende del grado de complejidad que alcance en su relación con otros individuos de su especie.

Los tipos más importantes de feromonas son:

a) Marcadores de trayectos. Son sustancias que dejan marcas olorosas para indicar el camino de vuelta a la colonia, cuando los exploradores tienen éxito en su búsqueda de alimento. Son típicas de insectos sociales, como hormigas, zompos (*Atta cephalotes*) y algunas termitas.

b) De señalización y reconocimiento. Atraen a otros individuos hacia los insectos secretores o a los lugares que ellos frecuentan. Incluyen los olores de reconocimiento de castas de Himenópteros sociales (abejas, avispas) y el marcado de zonas para recoger néctar y polen.

c) De regulación de castas. Se da en insectos sociales, aunque sólo la produce la reina de la colonia. Son típicas de las termitas, donde la reina produce una serie de sustancias que se distribuyen por la colonia, entre los individuos, mediante la saliva. Según la feromona ingerida se produce una serie de cambios (aunque también intervienen otros factores) en los individuos que las ingieren, dando lugar a diferencias en su desarrollo que originan las castas: obreros, soldados, reproductores secundarios.

d) De agregación. Es un tipo de feromonas atractivas para ambos sexos y funcionan a grandes distancias que inducen la formación de grandes agregados, temporales o persistentes; tienen una estructura compleja, por lo que su uso es más limitado que las feromonas sexuales. Se da en las abejas cuando forman los enjambres, en los Coleópteros escolítidos (escarabajos de la corteza) cuando buscan un lugar para aparearse y alimentarse, en algunas especies de Coleópteros **coccinélidos (como la "mariguira" o *Coccinella septempunctata*)** cuando van a invernar, o en las cucarachas (*periplaneta americana* y otras)

e) De alarma. Ocurre a través de un conjunto de sustancias que producen algunos insectos que viven en comunidades, para avisar a sus congéneres de algún peligro. Estas feromonas hacen que los insectos que las perciban corran o vuelen más activamente, muestren un comportamiento agresivo, o traten de huir. Se ha encontrado en muchas hormigas, pulgones, abejas y algunas termitas.

f) De coordinación. Son las que interfieren en las interacciones de los insectos cuando intercambian información sobre fuentes de alimentos y enemigos naturales.

g) De ovoposición. Utilizadas por hembras de una especie para marcar un territorio apto para ovipositar y que puede ser usado por otras hembras.

h) Morfogénicas. Son feromonas que afectan al desarrollo de los individuos que las ingieren, especialmente en el desarrollo sexual. En la langosta (*Schistocerca gregaria*) los machos maduros producen una sustancia que promueve la maduración sexual de otros machos. En la abeja (*Apis mellifera*) la **reina produce la "sustancia de la reina", una feromona producida en una glándula** que posee en las mandíbulas, la cual inhibe el desarrollo de los ovarios de las obreras, y que también tiene efecto sobre su comportamiento, evitando que construyan celdas reales y críen nuevas reinas.

i) Atrayentes sexuales. Son las feromonas más investigadas actualmente y entre ellas las producidas por Lepidópteros, especialmente en aquellas especies que pueden ser plagas agrícolas, aunque se conocen en otros muchos órdenes de insectos (Dípteros como moscas, mosquitos, Homópteros como chinches, cigarras, etc.). Las feromonas de Lepidópteros son más simples en su composición que las de Coleópteros y Dípteros. En los Lepidópteros las feromonas sexuales son producidas fundamentalmente por las hembras en unas glándulas que poseen en el abdomen, con el fin de atraer a los machos hacia ellas, y facilitar así el encuentro y apareamiento. Los machos (de Lepidópteros y de otros muchos insectos) también producen sus feromonas sexuales, que actúan cuando están cerca de la hembra, induciéndola al acoplamiento.

Dentro de los distintos tipos de feromonas, las relacionadas con el apareamiento (sexuales) y las de agregación son de las más estudiadas para distintas especies de los órdenes Lepidoptera y Coleoptera, por su potencial como herramienta en el control de insectos.

3. APLICACIÓN DE LAS FEROMONAS EN EL MANEJO INTEGRADO DE PLAGAS (MIP).

Lo más llamativo e importante para el ser humano en el proceso feromonal en los insectos, es su aplicación en la agricultura, especialmente en la entomología aplicada a los cultivos o entomología agrícola.

El uso de las feromonas para manipular el comportamiento de los insectos e impedir su reproducción, ha proporcionado una nueva estrategia en el control de plagas, sobre todo en los programas de manejo integrado de plagas (MIP), donde, combinadas con métodos de control biológico, pueden disminuir el uso y

número de aplicaciones de productos químicos. Existen varias estrategias que están siendo aplicadas en esa línea de trabajo:

3.1 Monitoreo de poblaciones.

En esta estrategia las feromonas se usan como atrayentes en una trampa (en esto hay muchas variantes), donde se realiza el monitoreo de insectos para determinar su fenología, distribución, densidad y dispersión. El monitoreo permite hacer una evaluación temprana para decidir la aplicación de otras técnicas de control y para la predicción del ataque de la plaga en el cultivo, conduciendo a la reducción en el consumo de agroquímicos, al aplicarlos en el momento preciso.

3.2 Seguimiento de poblaciones.

El uso de feromonas para detectar la dinámica de las poblaciones de plagas proporciona una información precisa sobre el momento de emergencia y la magnitud de la población de los machos adultos. De este modo la aplicación de insecticidas u otros medios de control puede realizarse de acuerdo con el ciclo biológico del insecto y a la vez estimar la magnitud de las siguientes poblaciones de larvas.

3.3 Trampeo masivo.

El uso de trampas de manera masiva (cebadas con feromonas), conduce a la captura, también masiva, de insectos, convirtiéndose en un medio de control de los mismos. Esta estrategia de trampeo masivo asume que cualquier disminución notoria de la población de adultos, resultará en una reducción de las poblaciones de la próxima generación. Simultáneamente se reduce la posibilidad de encuentros entre machos y hembras.

3.4 Impedimento de la cópula (o confusión del macho).

Técnica que consiste en la distribución en gran cantidad de esparcidores de feromonas en el campo, con el fin de crear una confusión sexual al saturar la atmósfera con la feromona y así los machos no puedan localizar a las hembras. Esto disminuirá el número de encuentros entre machos y hembras y dará como resultado niveles de población más bajos en las generaciones sucesivas. En este caso no hay captura de individuos.

3.5 Captura e infestación.

Es otra estrategia que se basa en la combinación de un patógeno del insecto plaga, con feromonas; de esta manera se atrae a la plaga con la feromona

y se logra, simultáneamente, infestarla con el patógeno. Posteriormente al ser liberados los insectos, se convierten en vectores diseminando la enfermedad.

3.6 Señuelo y muerte.

Consiste en atraer al insecto con la feromona mediante el uso de trampas especiales que contienen insecticidas, causando la muerte de los insectos.

3.7 Identificación y detección de insectos.

Es una metodología empleada en puestos de cuarentena y aduanas para detectar plagas en cargas y equipajes; consiste en un rastreo rápido y eficaz de determinados insectos usando una feromona conjuntamente con una trampa para poder capturar y retener a los insectos en cuestión.

Cabe destacar que las feromonas son de bajo impacto ambiental, y que tienen además la particularidad de no generar resistencia en las poblaciones de insectos plaga.

4. FEROMONAS SINTÉTICAS.

Al año 1999, se reportó que se habían identificado los componentes feromonales de más de 1500 especies de polillas. No obstante se han sintetizado en el laboratorio muchas feromonas comerciales, que no son más que compuestos químicos iguales o casi idénticos a la estructura de la feromona original producida por el insecto. No hay que confundir a estas feromonas de laboratorio con los **"atrayentes"** que son compuestos químicos que inducen una respuesta parecida, pero que no tiene relación química con la feromona original

BIBLIOGRAFIA.

Arn, H., M. Töth y E. Priesner. 1999. The Pherolist: list of sex pheromone of Lepidoptera and related attractants. Edición en internet: <http://www.nyasaes.cornell.edu/pheronet>.

Brahmachary, A. 1986. Ecology and chemistry of mammalian pheromones, en Endeavour p. 10-65.

iblioteca digital.ilce. edu.mx. Vol. 1, Ciencias. Feromonas de mamíferos.

- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). 2004. Control Biológico de plagas agrícolas. Carballo, M. y F. Guaharay Editores técnicos. Serie Técnica Manual Técnico N°53. p. 124-136.
- González, L.; P. López, J. A.; C. Rodríguez. 2004. Control Biológico de Insectos mediante Feromonas y Atrayentes. El Control Biológico de Plagas Agrícolas. CATIE. Nicaragua. pp. 123-136.
- Guidobaldi F. y P. Guereintein. 2012. El sistema olfativo de los insectos. [National Scientific and Technical Research Council. CONICET. CICYTTP. Centro de Investigaciones Científicas y Transferencia Tecnológica a la Producción.](#)
- Karlson, P. 1973. Manual de bioquímica para médicos, naturistas y farmacéuticos. Editorial Marín, Barcelona. p 397-398.
- Kuwahara, Y. (1984). [Flight Time of Bombyx mandarina Males to a Pheromone Trap Baited with Bombykol](#). *Applied Entomology and Zoology*. 19 (3): 400–401.*
- Universidad de Sevilla. 2007. España. Open Course Ware. Sanidad Vegetal, Tema 5, p.1-4.●